URBANIZAÇÃO E ALTERAÇÕES MICROCLIMÁTICAS EM JUIZ DE FORA - MG

Eduardo Oliveira SANTOS [1]
Thiago Oliveira SANTOS [2]
Daniel MENDES[3]
Luiz Alberto MARTINS[4]

RESUMO

As alterações climáticas ocorridas atualmente são percebidas sobretudo nas áreas urbanas. Uma dessas alterações climáticas é a configuração de clima urbano e clima rural, em que, devido às características térmicas e hídricas das áreas urbana e rural serem bastante distintas, passa-se a configurar climas diferentes. Algumas dessas alterações são bem percebidas na cidade de Juiz de Fora, conforme um estudo realizado em dois diferentes pontos no município: um situado na área urbana, Estação do Nossa Senhora Aparecida (ENSA) localizada na porção centro leste da cidade e outro situado na área rural, Estação do Caeté (EC), localizado a sudeste do município. Esse trabalho busca verificar se a ação antrópica vem alterando os aspectos climáticos no município de Juiz de Fora, observando se essas alterações vêm contribuindo para a intensificação de certos fenômenos climáticos. Os dados analisados podem também demonstrar a influência das alterações em questões relativas ao desenvolvimento urbano no que tange ao aspecto do planejamento urbano. A análise dos dados coletados apontou para a existência de uma diferenciação térmica do interior da cidade em relação ao espaço rural. A maior quantidade de chuvas, além da ocorrência de episódios de granizo com maior freqüência e intensidade sobre as áreas urbanas são aspectos que comprovam essas alterações no município de Juiz de Fora. Com base na interpretação dos dados pode-se concluir que a ação antrópica vem provocando alterações microclimáticas na cidade, o que contribui para a queda na qualidade de vida da população.

INTRODUÇÃO

Vários cientistas levantam a hipótese que as mudanças climáticas que vem ocorrendo ou que ocorrerão no futuro podem ser devidas às atividades antrópicas. Este fato é amplamente demonstrado numa escala local, nas áreas urbanas. Um claro exemplo deste fenômeno local é o que denominamos de aquecimento urbano isolado, que está relacionado ao aquecimento localizado das grandes cidades em relação às áreas circundantes (área rural).

Apesar dessas mudanças se processarem principalmente numa escala local, percebe-se que o homem pode e vem influenciando o clima, sobretudo com o aumento populacional e das capacidades tecnológicas e científicas que ocasionam transformações no espaço.

É através de suas várias atividades inadvertidas que o homem modifica tanto o tempo como o clima, sendo que muitas vezes essas alterações quase não são percebidas.

[1] Universidade Federal de Juiz de Fora, Bolsista de Treinamento Profissional do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental, climasantosjfmg@yahoo.com.br
[2] Universidade Federal de Juiz de Fora, Monitor das Disciplinas de Meteorologia e Climatologia do curso de Geografia, climasantos2004@yahoo.com.br.
[3] Universidade Federal de Juiz de Fora, Bolsista de Iniciação Científica, budyko@pop.com.br.
[4] Universidade Federal de Juiz de Fora, Prof. Titular do Departamento de Geociências, lalberto@artnet.com.br

A expressão clima urbano é um dos mais clássicos exemplos dessas alterações. As áreas urbanas, por serem constituída por materiais com características bem distintas em relação às áreas adjacentes faz com que certos fenômenos atmosféricos sejam percebidos com maior freqüência nessas áreas. Algumas alterações são bem significativas, como por exemplo, o maior aquecimento destas áreas; a ocorrência de chuvas de granizo com maior freqüência; a própria quantidade de precipitação, que pode estar associada ao maior aquecimento e a presença mais abundante de núcleos higroscópicos que favorecem a maior precipitação nesses locais, além de outras características que serão posteriormente analisadas, sobretudo relacionadas à questão de Juiz de Fora.

A ação humana e as alterações microclimáticas em Juiz de Fora - MG

Neste momento analisaremos algumas formas pelas quais a atividade humana age sobre o espaço, influenciando o clima, sobretudo em escala local.

Diversas atividades e ações humanas, relacionadas sobretudo às sociedades modernas, vêm contribuindo para alterações microclimáticas. Dentre estas atividades destacamos a urbanização, fenômeno intensificado com a Revolução Industrial, nos paises desenvolvidos, e de maneira avassaladora nos países subdesenvolvidos, de industrialização mais tardia.

Na área urbana esse processo é tão impactante, que o clima urbano originado nesses locais, é bastante distinto em várias características, do clima das áreas rurais circundantes. “O maior impacto do homem sobre o clima acontece nas áreas urbanas” (AYOADE, 1992). Vários fatores são alterados, como a composição química da atmosfera em virtude da excessiva quantidade de material particulado que é lançado na atmosfera originado das mais variadas fontes; as propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre através dos diferentes materiais que são usados na construção das edificações, casas e outras estruturas, ocasionando diferentes taxas de albedo, gerando ganhos irregulares de energia e o aumento exagerado da temperatura na cidade; a impermeabilização, que dificulta a absorção da água da chuva e favorece o escoamento superficial, sobrecarregando a rede de drenagem. Os parâmetros aerodinâmicos da circulação atmosférica na área urbana também são modificados, decorrentes do sítio e da estrutura urbana.

Como já foi enunciado, as superfícies naturais são substituídas por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios, resultando taxas de radiação em ondas longas e curtas menores sobre as áreas urbanas; mesmo assim ocasiona aumento da temperatura quando há diminuição nos períodos de insolação. “Os contrastes térmicos que se desenvolvem entre a área urbana e a área rural dependem do balanço de energia da cidade...” (OKE, 1978).

A umidade absoluta às vezes costuma ser maior nas áreas urbanas em virtude de processos advectivos, além dos processos de combustão que contribui para a maior quantidade de vapor d’água. Porém há uma diminuição na umidade relativa, em virtude do próprio aquecimento ser mais intenso na área urbana em relação ao entorno rural.

A ocorrência de chuvas de granizo tende a ser intensificada na malha urbana em virtude dos rápidos processos convectivos de formação das nuvens. Além disso, nota-se um aumento relativo nas taxas de precipitação sobre as áreas urbanas e também na quantidade de nebulosidade, principalmente pelo maior aquecimento, presença maior de quantidade de vapor d`água na atmosfera e elevada concentração de núcleos higroscópicos o que favorece os processos de condensação e precipitação sobre essas áreas. “Os nevoeiros e

neblinas são mais espessos, ocorrendo com maior freqüência e persistência, prejudicando a visibilidade" (AYOADE, 1992).

Os ventos fortes são desacelerados em virtude da existência de inúmeros obstáculos que "quebram" sua velocidade, enquanto os ventos mais fracos são acelerados em virtude da canalização promovida pelas edificações, à medida em que se deslocam sobre esses corredores.

Algumas destas mudanças poderão ser explicadas fazendo referência a alguns fatores. Dentre elas, destacamos o aumento da temperatura nas áreas urbanas, fenômeno denominado de "ilha de calor". Este fenômeno, típico das grandes cidades é o resultado da elevação das temperaturas médias nas áreas centrais da mancha urbana, em comparação com as zonas periféricas ou com as zonas rurais. Este fenômeno pode ser conseqüência de alguns fatores. A substituição da cobertura vegetal por outras estruturas com propriedades térmicas distintas às vegetais faz diminuir significativamente a irradiação de calor para a atmosfera em comparação com as áreas rurais, contribuindo para a produção de mais calor levando ao conseqüente aquecimento destas áreas. A produção artificial de calor pelos processos de combustão, aquecimento do espaço e metabolismo também contribui para a maior elevação da temperatura. A pouca presença de superfícies líquidas nas áreas urbanas, resultado do escoamento artificial por sistemas de esgotos e redes pluviais, além da própria ausência de extensas coberturas vegetais e ausência de lagos e reservatórios contribui também com alguma parcela para o maior aquecimento das áreas urbanas, uma vez que, a energia que seria utilizada para os processos de evaporação e evapotranspiração serão usadas para aquecer o ar, pelos processos de irradiação.

Em Juiz de Fora, o Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCAA) da Universidade Federal de Juiz de Fora mantém uma rede de estação climatológica urbana formada por sete unidades. Nesse trabalho, analisaremos os dados das estações de Nossa Senhora Aparecida (ENSA), situada na porção centro-leste da cidade, em área intensamente urbanizada, e a do Caeté (EC), localizada a sudeste do município, em área predominantemente rural.

Segundo os dados referentes a novembro de 2003, conforme a figura 1, a temperatura média máxima registrada na EC (Estação do Caeté) foi de 27,5°C, e na ENSA , 29,0 °C. Merece destaque a temperatura máxima registrada no dia 17 de novembro. Enquanto a EC registrou 21,0°C, a ENSA assinalou máxima de 31,0°C.

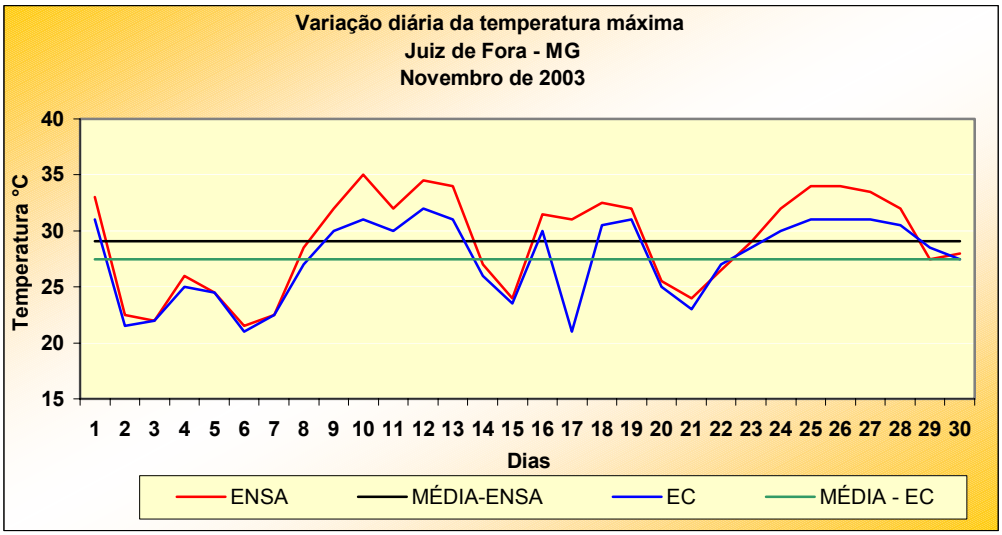

Figura 1. Variação diária da temperatura máxima

Uma maneira correta de fazer comparações é transformar todas temperaturas medidas para as mesmas condições de pressão, ou seja, comparar as temperaturas potenciais. O cálculo desse índice é dado pela expressão matemática: $\theta = T (P_0 / P)^{R/c_p}$,

"onde θ é a temperatura potencial de uma parcela de ar que se encontra num nível de pressão (P) , à temperatura (T). Em meteorologia, P_0 = 1000 hPa. R é uma constante específica do gás e c_p o calor específico do gás a uma pressão constante. " (VIANELLO e ALVES, 1991). Considerando esse índice de temperatura potencial constatou-se os seguintes resultados: na EC esse valor foi de θ = 25,0°C enquanto na ENSA , θ = 37,8°C. Esse dado demonstra que havia nesse dia uma forte tendência de ocorrência de uma ilha de calor na área central de Juiz de Fora, variando 12,2°C da área mais urbanizada em relação ao entorno rural.

Com base na análise das temperaturas médias máximas para ambas as estações climatológicas no mês de novembro de 2003, e convertendo esses valores para temperatura potencial para efeito de comparação, concluiu-se que a área urbana aqueceu este mês cerca de 13 % mais do que a área rural.

As maiores diferenças nas temperaturas máximas entre as duas áreas ocorreram nos dias em que se registraram o maior tempo de exposição à radiação solar, ficando bem evidenciado a influência dos materiais constituintes dos ambientes urbano e rural. Na área urbana, onde há presença de materiais com taxas menores de albedo, se observou temperaturas máximas superiores às da área rural. Nos dias em que se registraram temperaturas máximas menores na área urbana, essas tenderam a seguir um ritmo mais próximo nas duas áreas, mas predominando temperaturas máximas ainda maiores na área urbana.

A diminuição dos movimentos advectivos ocasionadas pelo efeito da fricção das estruturas urbanas reduz a troca de ar da cidade com ar mais frio proveniente da zona rural circundante, diminuindo os processos evaporativos e contribuindo para o aumento na quantidade de vapor d'água na atmosfera das cidades. Assim, a temperatura nessas áreas é em média mais elevada, uma vez que, o vapor d'água é o principal componente para o aquecimento do ar. A sensação de desconforto térmico pelos indivíduos que residem nessas áreas também é maior, em virtude da alta umidade que dificulta a transpiração.

Além disso, a concentração de gases e materiais particulados na atmosfera dos grandes centros urbanos é em elevada quantidade, causando um "efeito estufa" localizado, colaborando para a retenção do calor sobre as cidades. Com esta relativa redução na perda de radiação em ondas longas para o espaço, sobretudo à noite, sky view factor, contribui para que grande parte da energia fique conservada no interior da atmosfera urbana, ocasionando temperaturas mínimas mais elevadas do que nas áreas circundantes (áreas rurais).

Segundo a figura 2, a temperatura mínima para o mês de novembro de 2003 registrada na ENSA e na EC houve predomínio de temperaturas mínimas mais elevadas na área urbana em relação à área rural. Apenas em 13,3% dos dias observados nesse mês a área urbana apresentou temperaturas mínimas inferiores à área rural, ficando em média cerca de 1,0°C abaixo da mínima registrada na área rural. Em 70% dos dias desse mês, a temperatura mínima foi menor na área rural, quando comparada com a área urbana, registrando em média mínimas superiores a 1,6°C na área urbana em relação à área rural. No restante dos dias, a temperatura mínima registrada em ambas as estações foram iguais. A média mínima para o mês de novembro de 2003, registrada na EC, foi de 16,9°C enquanto na ENSA, foi de 18,5°C. Comparando ambas as áreas em termos de temperatura potencial, concluiu-se que a área urbana reteve cerca 19,6 % a mais energia durante a madrugada do que a área rural.

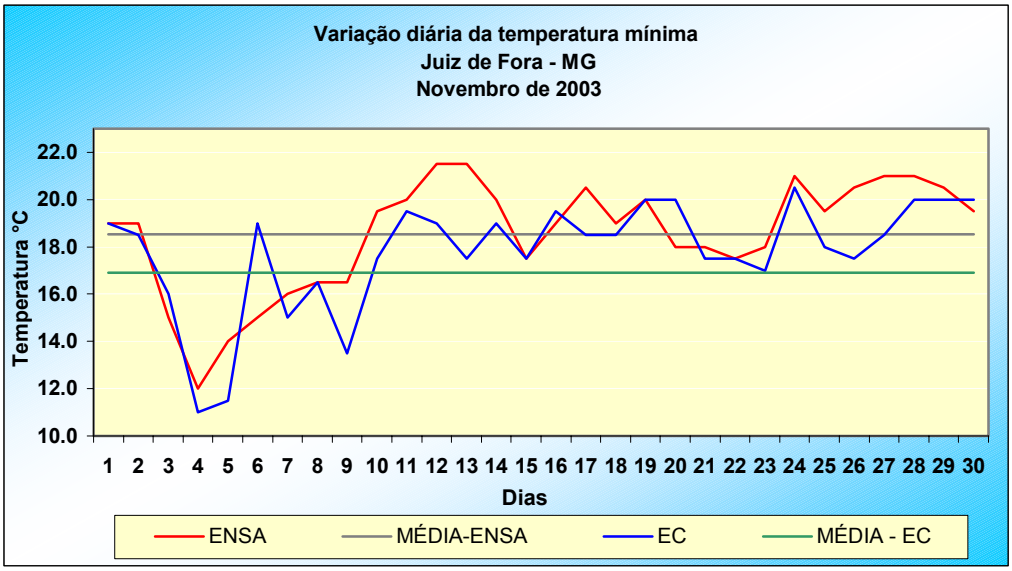

Figura 2. Variação diária da temperatura mínima

Enquanto a menor mínima foi registrada na EC, 11,0°C, na manhã do dia 4 de novembro, a maior mínima foi observada na ENSA, 21,5°C na manhã dos dias 12 e 13 de novembro, enfatizando mais uma vez a maior tendência de armazenamento de calor na área urbana.

O fenômeno da ”ilha de calor” ocasiona em certas áreas alguns fenômenos desejáveis, sobretudo em lugares com clima temperado, onde a necessidade de aquecimento é maior. Porém alguns aspectos desconfortáveis são observados, principalmente em áreas com climas quentes, como o tropical, onde haverá maior necessidade de condicionamento do ar. Além disso, esse fenômeno de aquecimento localizado nas áreas urbanas, acarretará num aceleramento dos processos de intemperismo químico dos materiais constituintes das construções, uma vez que os próprios constituintes químicos das chuvas são largamente modificados nessas áreas, caracterizadas por precipitações com pH bem ácido. Isso facilita o aparecimento de ferrugens (oxidação do ferro), na renovação da pintura da fachada e paredes externa das residências com maior freqüência, além da corrosão de diversos materiais e monumentos pelo ataque químico dos constituintes da chuva.

Outro aspecto notável em relação ao clima urbano é a tendência maior precipitação nas áreas urbanas.

As nuvens de gelo são características das áreas urbanas, devido ao abrupto aquecimento que ocorre nas cidades. Esse aquecimento intensifica os processos convectivos, leva à maior evaporação das partículas de água e ocasiona a formação de nuvens de elevada extensão vertical, principalmente sobre as cidades. Devido a grande produção de núcleos higroscópicos liberados pelas chaminés das indústrias e da combustão promovida pelos veículos automotores, há uma tendência a aumentar e a concentrar as precipitações sobre as cidades. Com a impermeabilização de grande parcela da superfície dessas áreas e a construção de diversas estruturas (casas, pontes, prédios) com materiais de diferentes taxas de albedo, menos reflexiva, fazem das cidades centros de aquecimento intenso. Como nas áreas urbanas normalmente se registram temperaturas máximas mais elevadas do que nas áreas rurais estabelecem-se comumente sobre as cidades centros de baixa pressão em relação às áreas circundantes, ou rurais, locais de alta pressão, com temperaturas geralmente menores. Esse fato induz a maior instabilidade do ar entorno. Como o ar dessas áreas é mais frio, e úmido, tem-se movimentos advectivos em direção aos centros de baixa pressão (centros urbanos), insuflando umidade sobre as áreas urbanas. Esse fenômeno fortalece a tendência de maiores índices pluviométricos nas regiões urbanizadas do que nas áreas rurais.

Segundo os dados pluviométricos da EC e ENSA relativos aos meses de julho a novembro de 2003, observou-se predominantemente na área urbana índices pluviométricos superiores aos registrados na zona rural. A fgura 3 mostra a variação mensal da altura pluviométrica entre a área urbana e rural de Juiz de Fora.

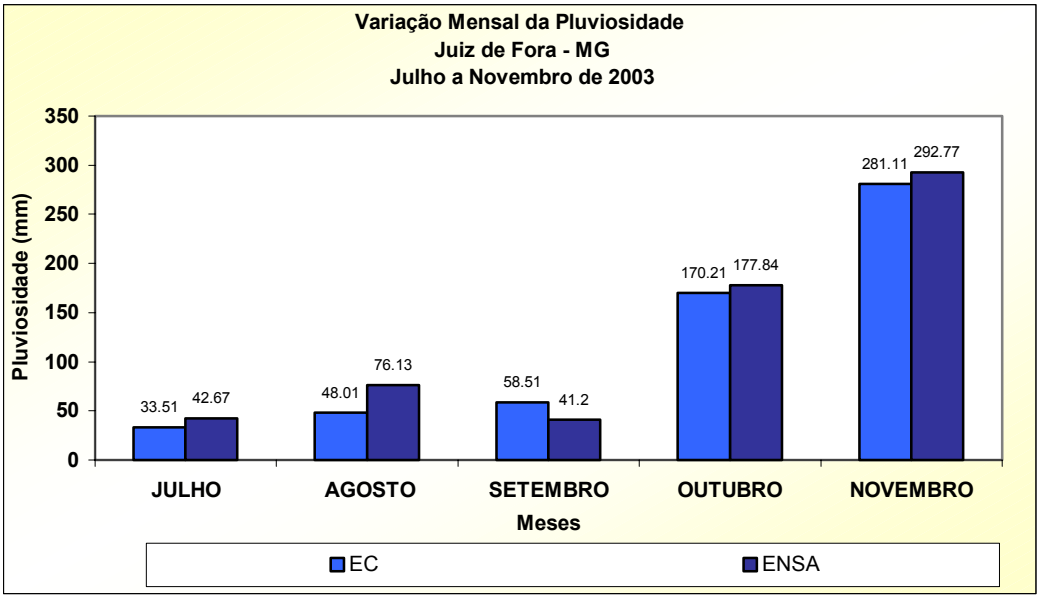

Figura 3. Variação mensal da pluviosidade

Em quatro dos meses analisados, julho, agosto, outubro e novembro, a quantidade de chuva que precipitou sobre o município foi superior na área urbana. A maior diferença nos índices pluviométricos dessas duas áreas ocorreu no mês de agosto, quando a área urbana registrou 58,6% a mais do que a área rural. Contudo, foram nos meses em que se registraram os maiores índices pluviométricos, outubro e novembro de 2003, que a diferença na precipitação foi menor entre as duas áreas. Em outubro a área urbana registrou índice pluviométrico superior em 4,5% e em novembro 4,1% em relação à área rural. Porém, contrariando essas tendências, no mês de setembro a área rural apresentou índice pluviométrico superior ao constatado na zona urbana. Nesse mês, a diferença pluvial entre as duas áreas foi a segunda maior no período analisado, precipitando cerca de 42,0% a menos na área urbana em relação à área rural. Apesar disso, durante todo o mês o índice pluviométrico foi superior à zona urbanizada. Apenas a pluviosidade registrada no dia 30 é que foi responsável pela diferença no resultado geral do mês de setembro. Até esse dia havia a predominância de maiores índices pluviométricos diário na área urbana, onde o total precipitado era de 40,87mm, enquanto que na zona rural (sudeste da cidade) essa quantidade havia sido de 35,61mm, ou seja, 14,77% a mais na área urbana (centro-leste da cidade) em relação ao registrado pela EC. O grande índice pluviométrico registrado no dia 30 de setembro pela EC é que provocou tal diferença e foi ocasionado por uma chuva localizada que ocorreu aproximadamente a partir das 17:00h do dia 29 na região do Caeté. Segundo a metodologia adotada para chuvas de 24h considerada a partir das 18h00 pela EC e ENSA, os dados dessa precipitação foram considerados para o dia 30, onde na EC o total de chuva recolhido foi de 22,9mm, enquanto na ENSA, o índice foi apenas de 0,33mm. Portanto, devido a essa diferença na precipitação diária observada em um único dia do mês, é que resultou no quadro mensal de precipitação, num índice superior para a área rural em relação a área urbana. Apesar disso esses resultados preliminares demonstraram que, as alterações nos fatores microclimáticos, vem influenciando nos índices pluviométricos registrados na cidade, sobretudo entre a área urbana e a rural.

Nesse período de pesquisa a ENSA registrou a ocorrência de duas chuvas de granizo que se precipitaram na região centro-leste da área urbana de Juiz de Fora. Essas chuvas ocorreram nos dias 16 de agosto e 13 de setembro de 2003. Nessa última, a quantidade precipitável foi de 16,64 mm ocorrida a tarde e a forte velocidade dos ventos ocasionou diversos transtornos aos moradores da cidade. Segundo a EC, às 17:00h, o tempo estava nublado e havia condição atmosférica de calma, apesar de uma forte chuva registrada após esse horário - com registro de 17,1 mm pelo fechamento do dia 14 de setembro. Porém não houve ocorrência de granizo na área rural. Na EC durante os 49 dias de chuva entre julho a novembro, apenas em 1 houve o registro de granizo, no dia 15 de agosto. Nesse dia não se registrou chuvas de granizo na área urbana, porém sendo registrado no dia seguinte. Um fato interessante observado na ENSA foi que nos dias que ocorreram esse tipo de precipitação essas representaram os maiores índices pluviométricos diários de cada mês, o que demonstra a elevada intensidade dessas chuvas sobre a área urbana, caso este não registrado pela EC, onde esse tipo de precipitação não representou ao maior índice pluviométrico diário do mês.

Segundo análise dos dados de precipitação geral durante os cinco meses analisados a área urbana precipitou em média cerca de 10,5% a mais do que na área rural. Esse percentual confirma a tendência de que nas áreas urbanas o índice de precipitação vem sendo maior do que nas áreas rurais. Apesar da apresentação dos dados pluviométricos desses cinco meses de pesquisa, esses estudos vêm sendo continuamente desenvolvidos pelas EC e pela ENSA afim de que se possa ter o maior número de dados para a confirmação dessa perspectiva proposta por inúmeras literaturas referentes a climatologia moderna.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J.O . **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

BRANDÃO, A.P. M. Tendências e oscilações climáticas na área metropolitana do Rio de Janeiro. In: **Natureza e sociedade no Rio de Janeiro**: Sec. Mun. de Cultura, Turismo e Esportes, 1992.

MARTINS, L. A. Aulas de meteorologia e climatologia. In. SANTOS, E. O. e SANTOS, T. O. **Pastas de Meteorologia e Climatologia**. Juiz de Fora: UFJF, 2003.

MARTINS, L. A. **A temperatura do ar em Juiz de Fora - MG: influências do sítio e da estrutura urbana**. Rio Claro: UNESP/IGCE, 1996. Dissertação de mestrado.

MENDES, D. **Dados da Estação do Caeté**. Juiz de Fora, 2003.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. *São Paulo*: USP/IG, 1976.

OKE, T.R., **Boundary Layer Climates**. New York: A Hausted Press Book, 1978.

SANTOS, E. O. e Santos, T. O. **Dados da Estação do Nossa Senhora Aparecida**. Juiz de Fora, 2003.

TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva - Fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1984

VIANELLO, R. L. & ALVES, R. A**. Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991.